# Listrik Statis

## A. PENDAHULUAN

- **Listrik statis** adalah listrik yang tidak mengalir dan berupa muatan listrik pada suatu benda.
- **Struktur atom** terdiri atas:
  1) **Neutron**, bermuatan netral dan terletak pada inti atom, tidak berpindah.
  2) **Proton**, bermuatan positif dan terletak pada inti atom, tidak berpindah.
  3) **Elektron**, bermuatan negatif dan terletak pada kulit atom, dapat berpindah dengan menerima atau melepas energi.
- **Muatan listrik** muncul akibat adanya perbedaan jumlah elektron dan proton pada atom benda.
  1) **Jika proton = elektron**, benda netral.
  2) **Jika proton > elektron**, benda positif.
  3) **Jika elektron > proton**, benda negatif.
- Muatan listrik dapat ditentukan menggunakan **elektroskop**.

## B. HUKUM COULUMB

- **Interaksi benda** bermuatan listrik:
  1) **Konduksi**, proses perpindahan elektron benda ke benda lain dengan sentuhan.

     Elektron berpindah ke benda yang kekurangan elektron.
  2) **Induksi**, proses pemisahan muatan listrik benda dengan benda lain tanpa sentuhan.

     Elektron mendekat ke benda yang kekurangan elekton.
- **Interaksi benda** bermuatan listrik di atas terhadap benda netral akan mengubah muatan.

  Contoh: kaca + sutra = positif, plastik/ebonit + wol = negatif.
- **Hukum Coulumb** menyatakan bahwa terdapat gaya listrik/Coulumb pada dua atau lebih benda bermuatan listrik yang berinteraksi.

**Di udara**

$$F = k\frac{q_1.q_2}{r^2}$$

**Di selain udara**

$$F = k\frac{q_1.q_2}{\varepsilon_o.r^2}$$

$$k = \frac{1}{4\pi\varepsilon_o}$$

k = tetapan Coulumb ($9 \times 10^9$ $Nm^2/C^2$)
$\varepsilon_o$ = permitivitas medium ($C^2/Nm^2$)
= $8,85 \times 10^{-12}$ $C^2/Nm^2$ (vakum/udara)

F = gaya Coulumb (N)
q = besar muatan listrik (C)
r = jarak antar muatan (m)

- **Sifat-sifat muatan listrik:**
  1) Muatan listrik **sejenis** akan tolak-menolak.
  2) Muatan listrik **berbeda** akan tarik-menarik.

- **Resultan gaya Coulumb** jika terdapat lebih dari dua benda bermuatan:
  1) Muatan segaris

$$F_{tot} = F_1 + F_2 + F_3 + \dots F_n$$

  2) Muatan membentuk sudut siku-siku pada benda 1

$$F_{tot} = \sqrt{F_{12}^2 + F_{13}^2}$$

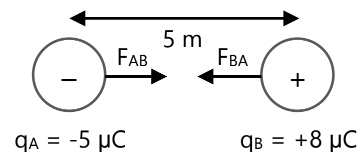
  3) Muatan tidak membentuk sudut siku-siku pada benda 1

$$F_{tot} = \sqrt{F_{12}^2 + F_{13}^2 + 2F_{12}.F_{13}.\cos\theta}$$

Contoh:

Tentukan gaya Coulumb yang dialami benda A yang bermuatan -5 μC jika terdapat benda B pada jarak 5 m dengan muatan +8 μC!

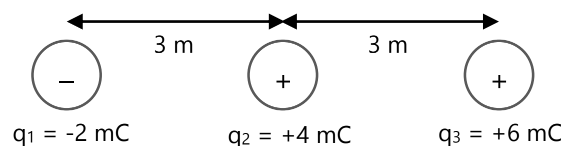
Jawab:




$$F_{AB} = 9 \times 10^9 \times \frac{5 \times 10^{-6}.8 \times 10^{-6}}{5^2}$$

$F_{AB}$ = <u>$1,44 \times 10^{-2}$ N</u> (ke kanan)

Contoh:




Hitunglah gaya yang dialami benda 1 dan 3!

Benda 1:




$$F_{12} = 9 \times 10^9 \times \frac{2 \times 10^{-3}.4 \times 10^{-3}}{3^2} = 8000\ N$$

$$F_{13} = 9 \times 10^9 \times \frac{2 \times 10^{-3}.6 \times 10^{-3}}{6^2} = 3000\ N$$

$F_{tot} = F_{12} + F_{13}$ = 8000 + 3000 = <u>11000 N</u>

Benda 3:




$$F_{31} = 9 \times 10^9 \times \frac{6 \times 10^{-3}.\ 2 \times 10^{-3}}{6^2} = 3000\ N$$

$$F_{32} = 9 \times 10^9 \times \frac{6 \times 10^{-3}.4 \times 10^{-3}}{3^2} = 24000\ N$$

$F_{tot} = F_{32} - F_{31}$ = 24000 – 3000 = <u>21000 N</u>





## C. MEDAN LISTRIK, ENERGI POTENSIAL LISTRIK, DAN POTENSIAL LISTRIK

- **Medan listrik** adalah daerah di sekitar benda bermuatan yang masih dipengaruhi gaya Coulumb.
- **Kuat medan listrik (E)** menunjukkan tingkat kekuatan gaya listrik di sekitar benda bermuatan, dapat dirumuskan:

| Pada suatu titik | Pada muatan uji |
|---|---|
| $E = k\dfrac{Q}{r^2}$ | $E = \dfrac{F}{q}$ |

E = kuat medan listrik (N/C)
Q = besar muatan listrik (C)
q = besar muatan uji (C)
r = jarak titik terhadap muatan sumber (m)

- **Resultan kuat medan listrik** jika terdapat lebih dari satu muatan sumber:

$$E_{tot} = E_1 \pm E_2 \pm E_3 \pm \dots E_n$$

- **Energi potensial listrik (Ep)** adalah energi yang dimiliki suatu benda bermuatan bila didekatkan suatu muatan uji.

$$Ep = k\frac{Q.q}{r}$$

Q = besar muatan listrik (C)
q = besar muatan uji (C)
r = jarak antar muatan (m)

- **Usaha listrik (W)** adalah usaha yang digunakan untuk memindahkan muatan uji yang berada dalam suatu medan listrik.

$$W = \Delta Ep = k.Q.q.\left[\frac{1}{r_2} - \frac{1}{r_1}\right] = q.(V_2 - V_1)$$

$r_2$ = jarak tujuan ke sumber muatan (m)
$r_1$ = jarak asal ke sumber muatan (m)
$V_2$ = potensial tujuan (V)
$V_1$ = potensial asal (V)

- **Potensial/beda potensial listrik (V)** adalah usaha listrik tiap satuan muatan yang terjadi ketika muatan uji dipindahkan ke suatu titik.

| Pada suatu titik | Pada muatan uji |
|---|---|
| $V = k\dfrac{Q}{r}$ | $V = \dfrac{W}{q}$ |

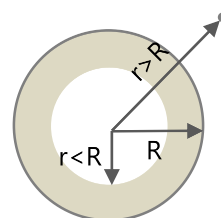
Q = besar muatan listrik (C)
q = besar muatan uji (C)
r = jarak antar muatan (m)

- **Resultan potensial listrik** jika terdapat lebih dari satu muatan sumber:

$$V_{tot} = V_1 \pm V_2 \pm V_3 \pm \dots V_n$$

- **Kuat medan listrik** dan **potensial listrik** pada beberapa keadaan:

1) **Pada bola konduktor berongga**




Pada bola berongga, muatan tersebar merata di permukaannya saja.

**Kuat medan listrik**:

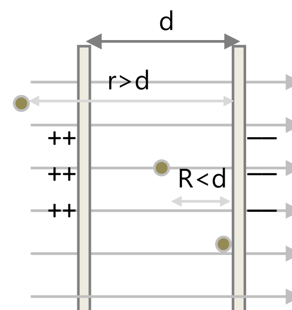
| Dalam bola (r<R) | Luar bola (r≥R) |
|---|---|
| $E = 0$ | $E = k\dfrac{Q}{r^2}$ |

**Potensial listrik**:

| Dalam bola (r≤R) | Luar bola (r≥R) |
|---|---|
| $V = k\dfrac{Q}{R}$ | $V = k\dfrac{Q}{r}$ |

Q = muatan bola berongga (C)
R = jari-jari bola konduktor (m)
r = jarak titik terhadap pusat bola (m)

2) **Antara dua keping sejajar**




Dua keping sejajar merupakan dua buah logam yang memiliki muatan berbeda.

Pada dua keping sejajar, muatan tersebar merata di seluruh bagian dalamnya, membentuk rapat muatan.

$$\sigma = \frac{q}{A}$$

σ = rapat muatan (C/m²)
q = muatan keping (C)
A = luas permukaan keping (m²)

Selama dalam keping sejajar, gaya Coulumb yang terjadi adalah sama.

**Kuat medan listrik**:

| Luar keping (r>d) | Dalam keping (r<d) |
|---|---|
| $E = 0$ | $E = \dfrac{\sigma}{\varepsilon_o}$ |

σ = rapat muatan (C/m²)
$\varepsilon_o$ = permitivitas medium (C²/Nm²)
= 8,85 x $10^{-12}$ C²/Nm² (vakum/udara)



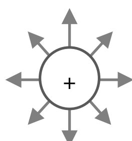
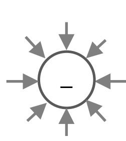
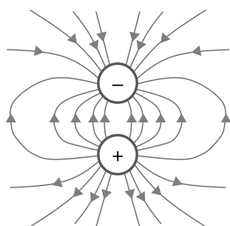
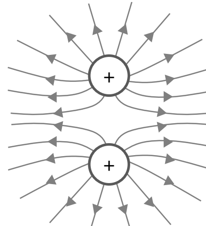
**Potensial listrik**:

| Luar keping (r>d) | Dalam keping (r<d) |
|---|---|
| $V = E.d$ | $V = E.r$ |

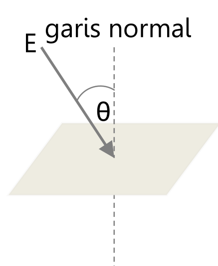
E = kuat medan listrik dalam keping (N/C)
d = jarak antar keping (m)
r = jarak titik ke keping = $^{1}/_{2}$d (m)

## D. HUKUM GAUSS

- **Garis-garis gaya listrik** adalah visualisasi vektor medan listrik yang tidak pernah berpotongan dan kerapatannya menyatakan kekuatan medan.
- **Garis-garis gaya listrik:**

| Positif | Negatif |
|---|---|
|  |  |
| Medan listrik mengarah menjauhi benda | Medan listrik mengarah mendekati benda |
| **Interaksi tarik-menarik** | **Interaksi tolak-menolak** |
|  |  |

- **Hukum Gauss** menjelaskan tentang jumlah garis-garis gaya listrik (fluks listrik) yang menembus suatu permukaan tertutup.




$$\Phi = E.A.\cos\theta$$

$$\Phi = \frac{\Sigma q}{\varepsilon_o}$$

Φ = fluks listrik (Weber)
A = luas permukaan tertutup ($m^2$)

## E. KEKEKALAN ENERGI MEKANIK PADA LISTRIK STATIS

- **Energi potensial listrik (Ep)** adalah energi yang dimiliki suatu benda bermuatan bila didekatkan suatu muatan uji.

$$Ep = k\frac{Q.q}{r} \qquad Ep = q.V$$

Q = besar muatan listrik (C)
q = besar muatan uji (C)
r = jarak antar muatan (m)
V = potensial listrik (V)

- **Energi kinetik listrik** adalah energi yang dimiliki suatu benda bermuatan karena ada pergerakan dan massa.

$$E_k = \frac{1}{2}m.v^2$$

m = massa muatan (kg)
v = kecepatan muatan (m/s)

- **Kekekalan energi mekanik** pada listrik statis:

$$EM_1 = EM_2$$

$$Ep_1 + Ek_1 = Ep_2 + Ek_2$$

$$\frac{1}{2}m.v_1^2 + q.V_1 = \frac{1}{2}m.v_2^2 + q.V_2$$

## F. KAPASITOR

- **Kapasitor** adalah alat penyimpan muatan dan energi listrik, yang terbuat dari dua keping konduktor dengan muatan sama besar, namun berlawanan.
- **Muatan kapasitor** dapat dihitung:

$$q = C.V$$

- **Kapasitor** biasanya diisi oleh bahan dielektrik atau isolator, seperti kertas, kaca, atau plastik, yang mempengaruhi kapasitansi.
- **Kapasitansi** adalah kapasitas muatan yang didapat disimpan kapasitor, dapat dihitung:

**Dielektrik vakum/udara**

$$C = \frac{q}{V} \qquad C = \frac{\varepsilon_o.A}{d}$$

C = kapasitansi (C/V atau farad)
$\varepsilon_o$ = permitivitas medium ($C^2/Nm^2$)
= $8{,}85 \times 10^{-12}$ $C^2/Nm^2$ (vakum/udara)
A = luas permukaan keping ($m^2$)
d = jarak antar keping (m)

**Dielektrik selain udara**

$$C = \frac{q}{V} \qquad C = \frac{\varepsilon_r.\varepsilon_o.A}{d}$$

$\varepsilon_r$ = permitivitas relatif medium ($C^2/Nm^2$)

- **Pengaruh dielektrik** terhadap muatan listrik dan potensial listrik pada kapasitor:

1) **Baterai tidak/pernah dihubungkan**

| Muatan | Potensial | |
|---|---|---|
| $q_D = q_o$ | $V_D = \frac{V_o}{\varepsilon_r}$ | $V_D < V_o$ |

2) **Baterai tetap dihubungkan**

| Muatan | | Potensial |
|---|---|---|
| $q_D > q_o$ | $Q_D = \varepsilon_r.Q_o$ | $V_D = V_o$ |

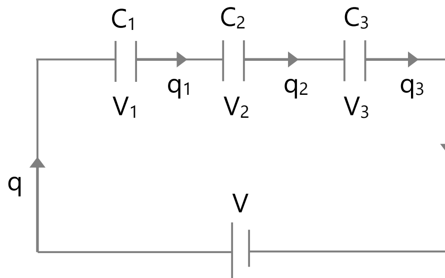




- **Energi kapasitor** yang tersimpan di dalamnya yang berupa energi potensial dapat dihitung:

$$E = \frac{1}{2} q.V \qquad E = \frac{1}{2} C.V^2 \qquad E = \frac{1}{2} \cdot \frac{Q^2}{C}$$

- **Rangkaian kapasitor** dapat disusun menjadi dua susunan, yaitu rangkaian seri dan rangkaian paralel.
- **Rangkaian seri** adalah rangkaian kapasitor yang disusun sejajar.




- **Pada rangkaian seri** berlaku hal berikut:
  1) Potensial total rangkaian adalah penjumlahan dari potensial seluruh kapasitor.

  $$V = V_1 + V_2 + V_3 + \ldots$$

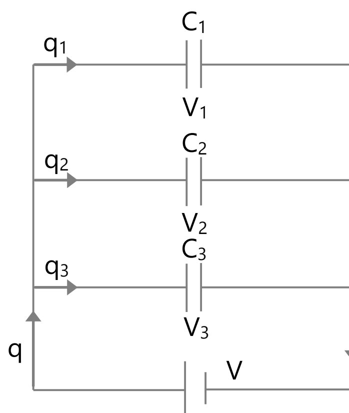
  2) Muatan listrik yang mengalir melalui tiap kapasitor adalah sama.

  $$q = q_1 = q_2 = q_3 = \ldots$$

  3) Kebalikan kapasitas kapasitor pengganti seri sama dengan jumlah kebalikan nilai kapasitas seluruh kapasitor.

  $$\frac{1}{C_s} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} + \ldots$$

- **Rangkaian paralel** adalah rangkaian kapasitor yang disusun bertingkat.




- **Pada rangkaian paralel** berlaku hal berikut:
  1) Potensial di seluruh kapasitor adalah sama.

  $$V = V_1 = V_2 = V_3 = \ldots$$

  2) Muatan listrik total kapasitor adalah penjumlahan dari muatan listrik yang mengalir ke masing-masing kapasitor.

  $$q = q_1 + q_2 + q_3 \ldots$$

  3) Kapasitas kapasitor pengganti paralel sama dengan penjumlahan dari kapasitas seluruh kapasitor.

  $$C_p = C_1 + C_2 + C_3 + \ldots$$

## G. APLIKASI KAPASITOR

- **Aplikasi kapasitor** antara lain:
  1) *Blitz* pada kamera menggunakan kapasitor.
  2) Alat untuk memilih frekuensi radio.
  3) Memisahkan arus bolak-balik (AC) dengan arus searah (DC) dengan menghambat arus AC dan menahan arus DC.
  4) Filter pada rangkaian catu daya.
  5) Menghilangkan loncatan api dalam rangkaian saklar.
  6) Menghilangkan bunga api pada sistem pangapian mobil.
  7) Menghemat daya listrik dalam rangkaian *tube lamp.*
  8) Catu daya cadangan ketika sumber energi yang menyuplai alat listirk terputus.



